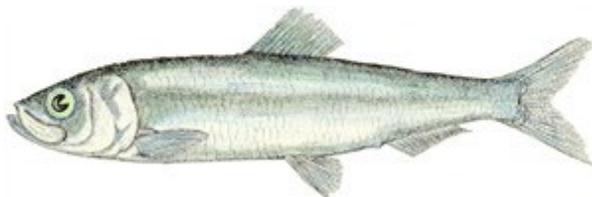




APPLICATION D'UN NOUVEAU CADRE DE MODÉLISATION POUR L'ÉVALUATION DES GRANDS STOCKS DE HARENG DU PACIFIQUE (*CLUPEA PALLASII*) ET MISE EN ŒUVRE DANS LE PROCESSUS D'ÉVALUATION DES STRATÉGIES DE GESTION



Hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*) – source : MPO, [Hareng du Pacifique](#)

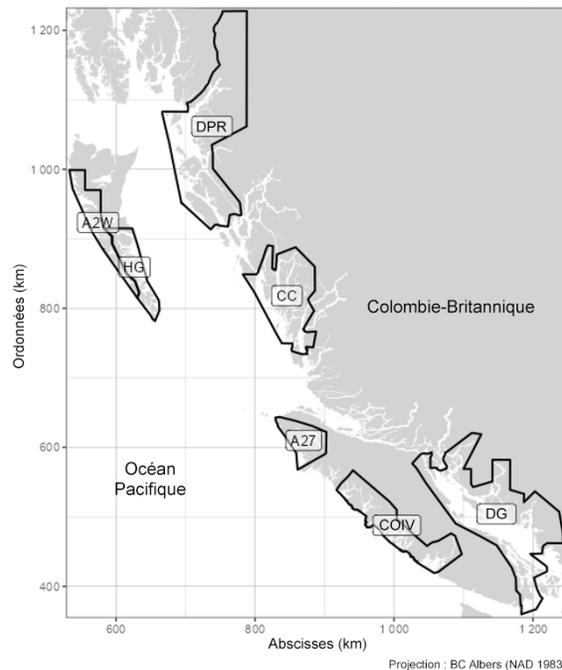


Figure 1. Zones des stocks principaux de hareng du Pacifique en Colombie-Britannique, à savoir Haida Gwaii (HG), district de Prince Rupert (DPR); côte centrale (CC), détroit de Georgia (DG) et côte ouest de l'île de Vancouver (COIV), et zones des stocks secondaires, à savoir les zones 2W et 27.

Contexte :

Pêches et Océans Canada (MPO) utilise à présent un processus d'évaluation des stratégies de gestion (ESG) pour collaborer avec les Premières Nations, les organisations non gouvernementales et le Conseil consultatif de l'industrie du hareng afin d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies de pêche durable pour les stocks de hareng du Pacifique de la Colombie-Britannique. Le cadre analytique de l'ESG utilise des modèles pour représenter la principale dynamique des populations de hareng et des pêches, ainsi que leur réponse aux options de gestion. La Direction de la gestion des ressources du MPO a demandé que la Direction des sciences du MPO mette à jour et examine les données, les modèles et les hypothèses qui sous-tendent ce cadre.

Le présent avis scientifique découle de la réunion d'examen régional par les pairs du 26 au 28 juin 2023 sur l'application d'un nouveau cadre de modélisation pour l'évaluation des grands stocks

de hareng du Pacifique (Clupea pallasii) et mise en œuvre dans le processus d'évaluation des stratégies de gestion. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

SOMMAIRE

- Un modèle statistique spécialement conçu pour les prises selon l'âge a été présenté avec les caractéristiques suivantes : souplesse dans la modélisation de la mortalité naturelle (M), méthode d'intégration des données des relevés de surface et de plongée dans l'estimation de l'indice du relevé, représentation du moment de toutes les pêches tout au long de l'année, inclusion des prélèvements de la récolte d'œufs sur varech et fonction de vraisemblance de la composition selon l'âge qui saisit la corrélation entre les âges.
- Le nouveau modèle est un modèle statistique spatialement intégré des prises de hareng selon l'âge (MSSIPHA), mais les capacités spatiales du modèle n'ont pas été utilisées ici. Le MSSIPHA a été comparé au modèle d'évaluation précédent au moyen d'une analyse de transition, à l'aide de données allant jusqu'en 2022.
- La pertinence du MSSIPHA en tant que modèle d'évaluation pour les cinq principaux stocks de hareng du Pacifique a été évaluée à l'aide de paramètres statistiques communs, y compris la qualité de l'ajustement, les auto-tests de simulation, les analyses rétrospectives et les tests de conformité. Les tendances de la biomasse, de l'épuisement et du recrutement ont été évaluées pour chaque grand stock. L'utilité du MSSIPHA en tant que modèle opérationnel a été évaluée en fonction i) du conditionnement de la série chronologique historique (1951-2022), ii) de la projection de la population sur une période de 15 ans, iii) de l'application de procédures de gestion conformes à l'approche de précaution à la population projetée, et iv) l'évaluation du rendement par rapport aux objectifs existants en matière de conservation et de biomasse au moyen de simulations en boucle fermée.
- La mortalité naturelle dépendante de la densité a été ajoutée pour représenter les effets potentiels sur les écosystèmes (par exemple, la prédation anticompensatoire) des stocks de hareng du Pacifique. Les preuves de l'anticompensation dans la mortalité naturelle variaient d'une région à l'autre et étaient les plus fortes à Haida Gwaii (HG), sur la côte centrale (CC) et sur la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV), et faibles dans le district de Prince Rupert (DRP) et le détroit de Georgia (DG).
- L'ajustement du modèle a été amélioré en introduisant une méthode de pondération pour combiner les indices des relevés de surface et de plongée au cours d'une seule année, plutôt que de traiter les observations de surface effectuées après 1987 comme provenant uniquement du relevé de plongée, comme c'était le cas auparavant.
- Le MSSIPHA et le modèle précédent montrent des tendances similaires dans les séries chronologiques de la biomasse et du recrutement. Les estimations de la mortalité naturelle du MSSIPHA correspondent au modèle précédent pour HG et la COIV, mais semblent être limitées à des niveaux inférieurs de mortalité naturelle pour le DPR, la CC et le DG.
- Les prélèvements de la récolte d'œufs sur varech ont été inclus dans le nouveau modèle, représentés comme utilisant des méthodes à enclos fermés, bien que la représentation utilisant des méthodes à enclos ouverts soit également possible dans les versions futures. L'inclusion de ces prélèvements a eu peu d'effet sur les tendances de la biomasse puisque la mortalité liée aux enclos est généralement faible, mais les courbes de rendement étaient sensibles à l'attribution des quotas entre les pêches.

- En tant que modèle opérationnel, le MSSIPHA a reproduit les tendances démographiques historiques et simulé les tendances futures et les données d'observation conformes aux observations historiques. Des exemples d'évaluations des procédures de gestion ont été présentés à l'aide de simulations de renseignements parfaits.
- La mortalité naturelle en fonction de la densité a des effets propres au stock, ce qui a une incidence sur les estimations de la biomasse non exploitée moyenne à long terme et donc sur les points de référence et, par conséquent, sur la perception de l'état des stocks au fil du temps. Par exemple, les stocks qui présentent des preuves plus solides d'anticompensation, comme celui de HG, montrent des estimations inférieures de la biomasse non exploitée moyenne à long terme, ce qui correspond aux estimations inférieures des points de référence limites.
- Les courbes de rendement à l'équilibre ont été produites à l'aide de simulations sur 200 ans et ont servi de base aux calculs du point de référence fondé sur le rendement maximal durable (RMD). Ces courbes étaient très sensibles à l'attribution des prises entre les pêches; une attribution fondée sur la moyenne historique des dix dernières années a été utilisée dans cette analyse (excluant les années sans pêche). Le taux de récolte estimé au RMD peut servir de guide pour les évaluations de l'ajustement des procédures de gestion, pour la conformité aux exigences de déclaration de la politique de l'approche de précaution et pour l'évaluation des pratiques exemplaires proposées pour les espèces fourragères.
- Un cycle minimal de trois ans est recommandé pour les mises à jour de l'ESG, à moins que de nouveaux éléments de preuve ne révèlent des circonstances exceptionnelles.
- Un processus pour mettre en œuvre le nouveau modèle d'évaluation et le nouveau modèle opérationnel, mettre à jour de l'ESG et déterminer les circonstances exceptionnelles doit être élaboré dans le cadre d'une approche progressive en consultation avec les gestionnaires, les Premières Nations et les intervenants.
- La variabilité environnementale a été modélisée implicitement par la dynamique de la mortalité naturelle (c'est-à-dire la prédation implicite), la variabilité du recrutement et la variabilité interannuelle de la mortalité naturelle par rapport à la relation anticompensatoire avec la biomasse; toutefois, l'analyse n'a pas porté sur des avis particuliers concernant les répercussions des changements climatiques et les modifications de la productivité des océans.
- Les travaux à venir devraient comprendre l'examen d'autres paramétrages de la mortalité naturelle dépendante de la densité, de la capturabilité des relevés et de la structure spatiale.

INTRODUCTION

Le hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*) en Colombie-Britannique est actuellement géré dans cinq régions d'évaluation des stocks principaux et dans deux régions d'évaluation des stocks secondaires. Les stocks principaux visés dans l'examen du modèle sont Haida Gwaii (HG), le district de Prince Rupert (DPR), la côte centrale (CC), le détroit de Georgia (DG) et la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV). Le hareng du Pacifique est une espèce importante pour les Premières Nations, qui pratiquent la pêche côtière autochtone à des fins alimentaires, sociales et rituelles (ASR) ainsi que les pêches commerciales autochtones et en vertu de traités dans des zones de gestion précises.

Pêches et Océans Canada (MPO) utilise un processus d'évaluation des stratégies de gestion (ESG) en collaboration avec les Premières Nations, les organisations non

gouvernementales et le Conseil consultatif de l'industrie du hareng afin d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies de pêche durable du hareng du Pacifique. L'utilisation du processus d'ESG s'harmonise avec la politique du MPO intitulée [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#) (MPO 2009). Le processus évalue la durabilité des stratégies de pêche en mettant à l'essai par simulation des procédures de gestion selon des scénarios de modèle opérationnel qui représentent un éventail d'hypothèses concernant la dynamique incertaine des populations et des pêches. Le rendement des procédures de gestion est mesuré au moyen d'objectifs de conservation et de prises pour chaque zone de stock et pêche (Cox *et al.* 2019; MPO 2023).

Ce cadre d'ESG, mis en place pour la première fois en 2018, repose sur un modèle statistique des prises selon l'âge utilisé dans les procédures de gestion (évaluation annuelle des stocks de hareng de la Colombie-Britannique) et pour estimer les principaux paramètres de la population employés dans les modèles opérationnels (Cleary *et al.* 2019; MPO 2019; MPO 2020; Benson *et al.* 2023). Les examens scientifiques antérieurs, les consultations continues avec les Premières Nations et les intervenants du secteur des pêches ainsi que l'augmentation des coûts des relevés montrent qu'il faut ajouter une fonctionnalité aux modèles opérationnels et d'évaluation, notamment :

1. le paramétrage de la mortalité naturelle dépendante de la densité afin de mieux représenter les effets potentiels de l'écosystème sur les stocks de hareng;
2. une méthode d'intégration des données des relevés de surface et de plongée dans l'estimation de l'indice du relevé;
3. la prise en compte de la mortalité par pêche par pas de temps discrets au cours d'une saison de pêche;
4. l'ajout des prélèvements de la récolte d'œufs sur varech;
5. une fonction de vraisemblance de la composition selon l'âge qui saisit la corrélation entre les âges.

La Direction de la gestion des ressources du MPO a demandé à la Direction des sciences du MPO de faire le point et d'examiner le modèle utilisé pour l'évaluation annuelle des stocks de hareng du Pacifique en Colombie-Britannique afin d'y inclure les éléments 1 à 4, puis de montrer son utilité en tant que modèle opérationnel.

ANALYSE

Un nouveau modèle intégré dans l'outil Template Model Builder a été présenté avec les caractéristiques suivantes : un processus dépendant de la densité pour la mortalité naturelle, une représentation explicite de la récolte d'œufs sur varech, les pêches comportant des événements de prélèvements discrets sur une courte saison, un indice de fraie unique qui combine les conceptions des relevés de plongée et de surface, et une fonction de vraisemblance de la composition selon l'âge qui tient compte de la corrélation des résidus entre les classes d'âge.

On a effectué des comparaisons avec le modèle précédent (MSIPA, Martell *et al.* 2012). Les tendances en matière de biomasse, de recrutement et de mortalité naturelle et par pêche étaient essentiellement les mêmes (figure 2, mortalité par pêche non illustrée). Les exceptions comprenaient la mortalité naturelle qui semble limitée à des niveaux inférieurs pour le DPR, la CC et le DG, mais qui semble correspondre étroitement pour HG et la COIV. De plus, même si les tendances de la biomasse étaient semblables, l'ampleur de la biomasse plus tôt au cours de

la période semble plus élevée pour le MSSIPHA que pour le modèle précédent. Les différences n'indiquent pas que l'un ou l'autre des modèles ne convient pas.

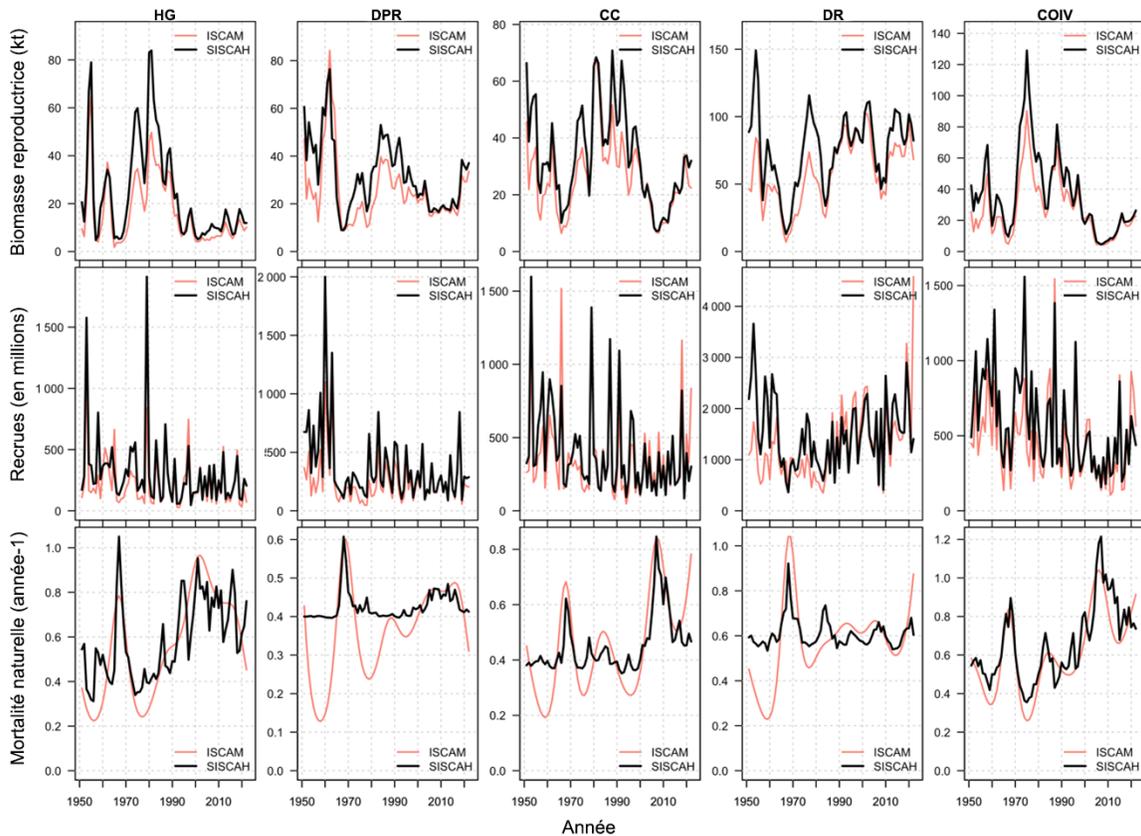


Figure 2. Comparaison des estimations de la biomasse, du recrutement et de la mortalité naturelle entre le modèle précédent (MSIPA, en rose) et le modèle MSSIPHA complet (en noir) pour les cinq régions d'évaluation des stocks : Haida Gwaii, district de Prince Rupert, côte centrale, détroit de Georgia et côte ouest de l'île de Vancouver.

La pertinence du MSSIPHA pour l'estimation des tendances de la biomasse, de l'épuisement et du recrutement pour chacun des cinq principaux stocks de hareng du Pacifique a été évaluée au moyen de la qualité de l'ajustement, d'auto-tests de simulation, d'analyses rétrospectives et de tests de conformité à l'aide des données allant de 1951 à 2022.

Qualité de l'ajustement

La qualité de l'ajustement a été déterminée au moyen des erreurs-types du modèle d'observation (une valeur inférieure est préférable, et le MSSIPHA présentait des valeurs inférieures au MSIPA pour les indices de fraie), des tendances temporelles des résidus du modèle (tendances temporelles minimales), de l'autocorrélation des résidus d'erreur d'observation et des erreurs de processus (faible autocorrélation), et d'une inspection visuelle des estimations de la biomasse, du recrutement et de la mortalité naturelle du modèle pour trouver des éléments de preuves d'artefacts ou de comportement inattendu du modèle. Les estimations du modèle étaient semblables à celles du MSIPA et les paramètres de productivité, comme la mortalité naturelle et le taux de variation stock-recrue, correspondaient aux attentes.

Auto-tests de simulation

Des auto-tests de simulation ont été réalisés pour les avis scientifiques sur les stocks de la CC et du DG. Pour la CC, le niveau de biais et la variation des paramètres du cycle biologique et du relevé ont été considérés comme étant acceptables parce que l'amplitude des erreurs relatives médianes était inférieure à 0,3 (sauf pour les effets finaux) et la plupart des distributions ont atteint le point d'intersection zéro, ce qui indique que les valeurs a posteriori du modèle MSSIPHA contenaient généralement les valeurs réelles des paramètres pour la population de la CC.

L'épuisement et le recrutement de la biomasse reproductrice n'étaient pas été biaisés au fil du temps, bien qu'il y ait eu un certain biais dans les paramètres de sélectivité lors de la simulation des données sur la composition selon l'âge.

La simulation des valeurs moyennes aléatoires a priori pour le taux auquel la mortalité naturelle augmente à de faibles tailles de stock (anticompensation, m_1) augmente la variance et, dans certains cas, le biais dans tous les paramètres du cycle biologique. Cependant, les erreurs de processus ont tendance à compenser les erreurs relatives plus importantes dans les paramètres de mortalité m_1 et M_b (le taux de mortalité naturel de référence ou minimum), ce qui laisse la plupart des estimations des séries chronologiques quelque peu insensibles aux valeurs a priori aléatoires.

Pour le DG, l'ampleur de la variation dans les auto-tests était également inférieure à 0,3 (sauf pour les effets finaux). Les valeurs a priori aléatoires ont eu un effet plus important sur le paramètre m_1 , ce qui devrait être le cas puisque le DG a connu quelques années de faible abondance, ce qui aiderait à éclairer le paramètre m_1 .

Une série chronologique d'erreurs relatives pour la biomasse reproductrice, l'épuisement et la mortalité naturelle du DG a donné des résultats semblables à ceux obtenus pour la CC. Les principales différences ont été observées pour le scénario simulé des données sur l'âge, où les effets du biais positif dans la BR_0 ont été observés sous forme d'un léger biais négatif dans les estimations de l'épuisement de la biomasse reproductrice et d'un petit biais négatif dans la série M_t . Cette dernière est causée par la baisse du paramètre M_b , qui fait baisser les estimations du taux de mortalité. Cependant, contrairement au cas de la CC, la variation de M_b n'a pas également été modulée par les erreurs du processus de mortalité parce qu'elles sont si petites (écart type de 0,06).

Analyse rétrospective

Les analyses rétrospectives ont démontré une certaine sensibilité à court terme aux nouvelles données qui finissent par se stabiliser. En général, la surestimation et la sous-estimation de la biomasse apparaissent avec la même fréquence et les points de référence biologiques étaient stables au fil du temps, ce qui – et c'est important – permet d'éviter la nécessité d'avoir des points de référence variables dans le temps.

Tests de conformité

Les tests de conformité ont montré que les estimations de la biomasse du hareng et les paramètres du cycle biologique du MSSIPHA étaient relativement insensibles aux choix particuliers des valeurs a priori pour chaque avis scientifique. La différence relative moyenne dans les estimations entre la mise en œuvre du MSSIPHA et les exécutions de sensibilité avec d'autres valeurs a priori était inférieure à 1,4 % pour tous les principaux paramètres du cycle biologique.

Pertinence du modèle opérationnel

L'utilité du MSSIPHA en tant que modèle opérationnel a été évaluée en fonction : i) du conditionnement de la série chronologique historique (1951-2022), ii) de la projection de la population sur une période de 15 ans, iii) de l'application de procédures de gestion conformes à l'approche de précaution à la population projetée, et iv) l'évaluation du rendement par rapport aux objectifs existants en matière de conservation et de biomasse au moyen de simulations en boucle fermée. Notre objectif n'était pas d'effectuer une évaluation complète de la stratégie de gestion, mais plutôt de démontrer la capacité de simulation du MSSIPHA en tant que modèle opérationnel et de démontrer les répercussions initiales de la mortalité naturelle dépendante de la densité dans le cadre des stratégies types relatives aux taux d'exploitation de l'approche de précaution du MPO.

Nous avons comparé les données historiques aux données projetées et avons constaté que le rendement était satisfaisant. En particulier, i) les erreurs de processus historiques et projetées pour le recrutement et la mortalité naturelle étaient semblables; ii) les tendances historiques et projetées de la mortalité naturelle variable dans le temps avaient la même « forme »; iii) la dynamique projetée correspondait à l'équilibre estimé du modèle; et iv) les données simulées étaient bruitées et non lisses (semblables aux données réelles). Pour tous les avis scientifiques, la dynamique de la population et les modèles d'observation pour la production de données simulées correspondaient en grande partie à ceux définis pour le modèle d'estimation (figure 3, par exemple : HG).

Le MSSIPHA a été jugé acceptable en tant que modèle opérationnel parce qu'il reproduisait les tendances démographiques historiques et simulait également les tendances futures et les données d'observation conformes à la dynamique historique. Des exemples d'évaluations des procédures de gestion ont été présentés en utilisant des renseignements parfaits et les travaux futurs comprendront des évaluations des procédures de gestion avec stochasticité.

Principales constatations

La mortalité naturelle dépendante de la densité représente les effets potentiels sur les écosystèmes (par exemple, la prédation anticompensatoire) des stocks de hareng du Pacifique. Les preuves d'anticompensation de la mortalité naturelle variaient d'une région à l'autre et étaient les plus fortes à HG, sur la CC et sur la COIV, et faibles dans le DPR et le DG (figure 4). Les stocks présentant de faibles taux d'anticompensation (HG, CC, COIV) montrent une augmentation de la mortalité naturelle sur un large éventail de niveaux de biomasse, tandis que les stocks ayant des taux d'anticompensation plus élevés (DPR, DG) affichent des tendances plus stables de la mortalité naturelle.

L'ajustement du modèle a été amélioré en introduisant une méthode de pondération pour combiner les indices des relevés de surface et de plongée au cours d'une seule année, plutôt que de traiter les observations de surface effectuées après 1987 comme provenant uniquement du relevé de plongée, comme c'était le cas auparavant.

La modélisation plus précise du moment de la pêche n'a pas eu d'effet mesurable sur les estimations du modèle, pas plus que l'ajout des prélèvements de la récolte d'œufs sur varech (représentés par les enclos fermés). Cependant, il y avait des différences notables dans les courbes de rendement selon l'attribution à la récolte d'œufs sur varech par rapport à une pêche du hareng entier (par exemple, hareng rogué à la senne), qui ont une incidence sur les points de référence à l'équilibre. Étant donné que la récolte d'œufs sur varech a un taux de récolte réalisé plus faible en raison de la remise à l'eau des adultes après la fraie, les taux estimés de U_{RMD} étaient plus élevés pour la récolte d'œufs sur varech que pour les autres pêches de

hareng entier. Ce résultat est dû au fait que la pêche peut capturer une fraction beaucoup plus importante de la biomasse reproductrice si la majeure partie de cette biomasse est libérée vivante après la mise en enclos. Par exemple, les courbes de rendement à l'équilibre et les points de référence obtenus au moyen de simulations de la mortalité par pêche constante sur 200 ans ont montré qu'une attribution élevée à la récolte d'œufs sur varech a produit des courbes de rendement avec des taux de U_{RMD} plus élevés que ceux ayant une attribution plus élevée à d'autres pêches de hareng entier (figure 5, exemple : DPR).

Le tableau 1 présente les estimations de la biomasse non exploitée à l'équilibre à long terme (BR_0), de l'épuisement actuel de la biomasse (BR_t/BR_0) et des points de référence fondés sur le RMD (sur la base de l'attribution moyenne décennale récente) tirés du MSSIPHA, estimées au moyen de processus de simulation à la fois déterministes et stochastiques. Les estimations déterministes de la BR_0 sont semblables aux estimations du précédent modèle MSIPA (tableau 2), mais les points de référence fondés sur le RMD diffèrent considérablement. Les estimations de U_{RMD} du MSIPA sont considérablement plus élevées que les niveaux de récolte historiques et n'ont donc pas été utilisées dans la gestion de la pêche au hareng. En revanche, les estimations de U_{RMD} du MSSIPHA correspondent davantage au niveau de récolte historique (lorsque la mortalité effective des œufs sur varech est prise en compte), de sorte qu'elles peuvent fournir un taux de prélèvement de référence initial à partir duquel le rendement des procédures de gestion conformes à la politique de l'approche de précaution peut être ajusté pour répondre aux objectifs prédéfinis. Les estimations de la BR_0 réalisées à partir de simulations déterministes sont généralement plus élevées que la BR_0 dérivée de simulations stochastiques (c'est-à-dire les erreurs de processus dans le recrutement et la mortalité naturelle), en particulier dans les avis scientifiques ayant de faibles valeurs m_1 . Les calculs du point de référence, y compris les différences entre les estimations déterministes et stochastiques de la BR_0 , et la sensibilité des courbes de rendement à l'attribution entre les pêches de hareng du Pacifique, méritent d'être examinés de plus près.

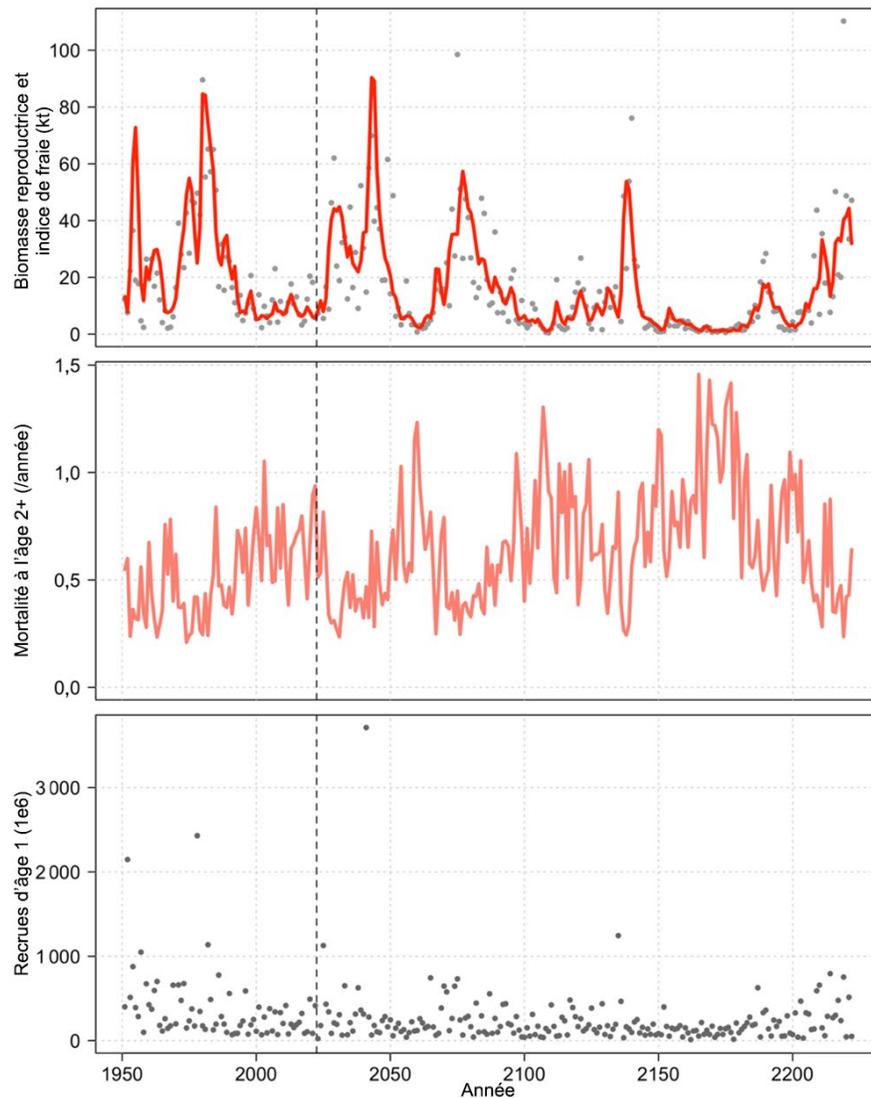


Figure 3. Exemple de répétition de simulation dérivée au moyen du modèle opérationnel du MSSIPHA dans le cadre d'un scénario sans pêche pour l'avis scientifique de Haida Gwaii. Les tendances historiques (1951-2022) comprennent les prélèvements de poissons, tandis que les tendances futures simulées sur 200 ans reflètent la variabilité de la population en l'absence de pêche. Le panneau du haut indique la biomasse reproductrice estimée (ligne rouge) et l'indice mixte (points gris); le panneau du milieu indique la mortalité naturelle estimée à l'âge 2+ (ligne rose); le panneau du bas indique le nombre estimé de recrues d'âge 1 (points noirs).

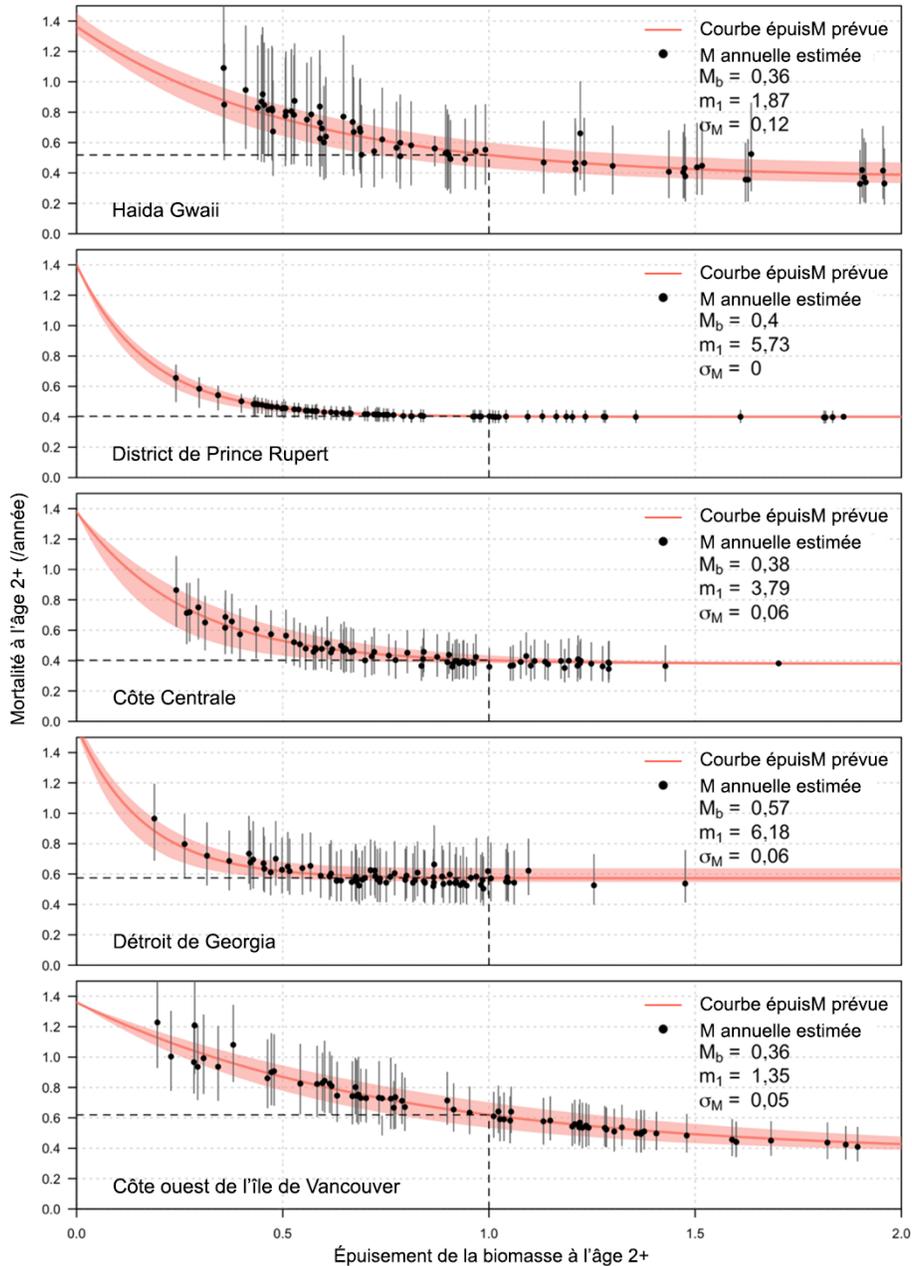


Figure 4. Estimation des valeurs a posteriori du modèle MSSIPHA de la relation densité-dépendance entre l'épuisement de la biomasse à l'âge 2+ et la mortalité naturelle à l'âge 2+. La relation médiane est illustrée par une ligne rose épaisse, avec une plage de crédibilité a posteriori de 95 % indiquée par la région en rose. Chaque point montre les estimations annuelles de la mortalité naturelle médiane a posteriori avec des erreurs types déclarées comme σ_M . Les autres paramètres sont les suivants : m_1 = taux d'anticompensation, M_b = limite inférieure asymptotique de la mortalité dépendante de la densité.

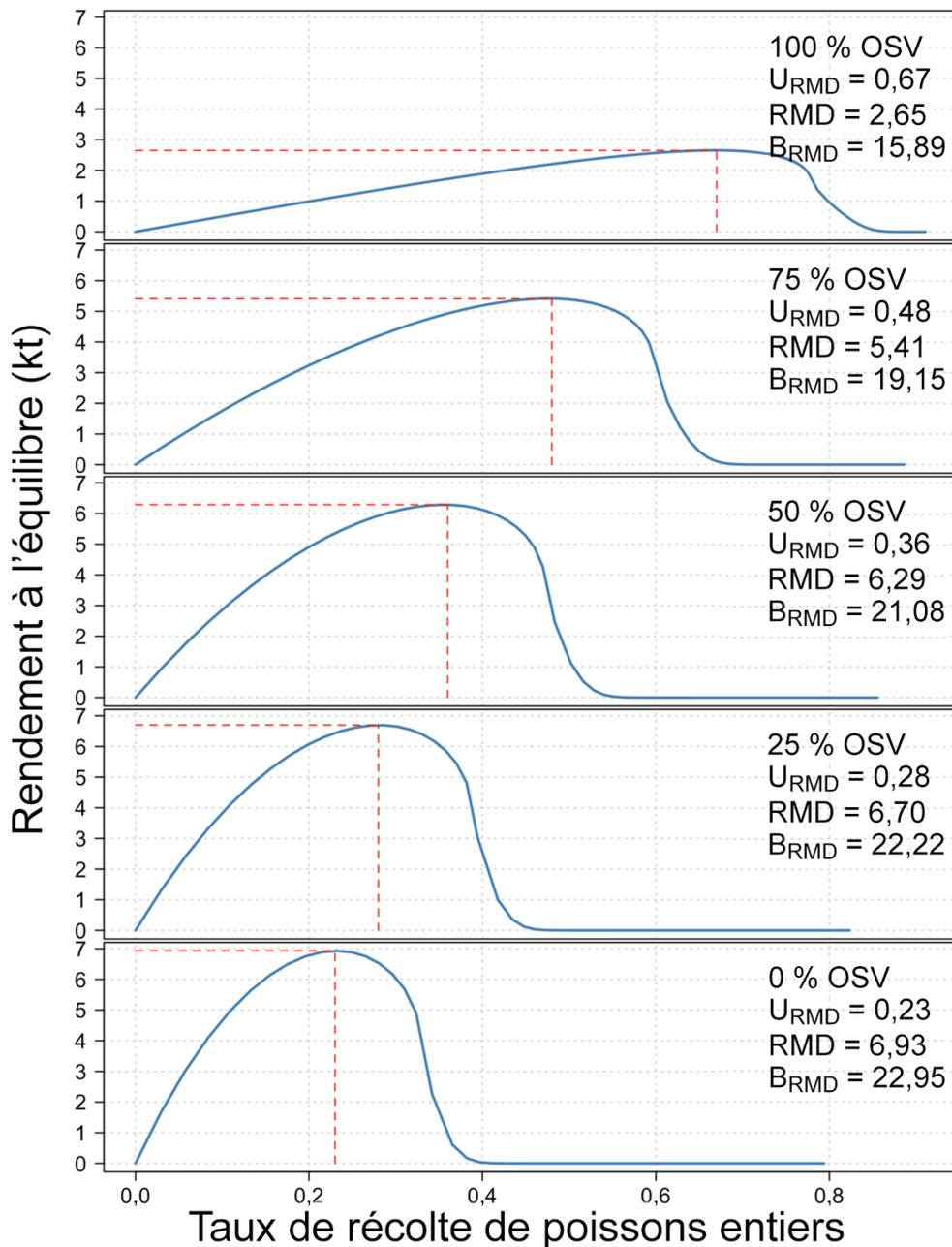


Figure 5. Exemples de courbes de rendement à l'équilibre et de points de référence obtenus au moyen de simulations de la mortalité par pêche constante sur 200 ans, à l'aide des estimations du cycle biologique et des paramètres de pêche du modèle MSSIPHA pour l'avis scientifique du district de Prince Rupert. Les courbes de rendement présentées ici diffèrent selon l'attribution entre la récolte d'œufs sur varech et la pêche à la senne du hareng rogué. Le panneau du haut montre l'attribution complète des quotas de hareng entier pour les œufs sur varech et le panneau du bas montre l'attribution complète pour le hareng rogué à la senne. Dans le cas des courbes de rendement où le % d'œufs sur varech est supérieur à 0, le taux de prise de poisson entier pour les œufs sur varech reflète la mortalité adulte associée aux enclos et à la manipulation. U_{RMD} est le taux de récolte estimé au rendement maximal durable (RMD) et B_{RMD} est la biomasse estimée au RMD. Le taux de récolte est calculé en divisant les prises par les prises et la biomasse reproductrice.

Tableau 1. Estimations du MSSIPHA de l'équilibre déterministe (Dét.) et stochastique (Stoch.) de la biomasse reproductrice non exploitée (BR_0 , kt) et de l'épuisement (BR_t/BR_0), ainsi que des estimations du rendement maximal durable (RMD, kt), de la biomasse au RMD (B_{RMD} , kt) et du taux de récolte associé au RMD (U_{RMD}). Les valeurs sont des estimations de la médiane a posteriori bayésienne, la moitié de l'écart interquartile étant indiquée entre parenthèses.

	Non exploitée BR_0		Épuisement BR_{2022}/BR_0		Points de référence fondés sur le RMD		
	Dét.	Stoch.	Dét.	Stoch.	B_{RMD}	U_{RMD}	RMD
HG	24,14	12,93	0,46	0,86	5,23	0,26	0,30
DPR	49,02	46,41	0,75	0,78	19,33	0,37	3,65
CC	53,61	46,67	0,59	0,68	20,37	0,31	1,95
DG	124,07	119,11	0,65	0,68	41,83	0,35	22,66
COIV	41,32	38,06	0,62	0,68	10,30	0,35	2,42

Tableau 2. Les estimations du MSIPA pour la biomasse de fraie non exploitée à l'équilibre à long terme (BR_0 , kt), l'épuisement (BR_t/BR_0) et les points de référence à l'équilibre : le rendement maximal durable (RMD, kt), la biomasse (B_{RMD} , kt) et le taux de récolte associé au RMD (U_{RMD}).

	BR_0	BR_t/BR_0	B_{RMD}	U_{RMD}	RMD
HG	21,82	0,47	4,03	0,592	5,84
DPR	55,48	0,6	9,88	0,396	6,48
CC	49,63	0,45	3,61	0,691	8,06
DG	133,57	0,51	15,25	0,652	28,62
COIV	43,29	0,52	4,07	0,708	9,85

Sources d'incertitude

Ce modèle est établi dans un cadre bayésien, ce qui signifie que les données ainsi que les distributions a priori sur les paramètres du modèle ont une certaine influence sur les sorties du modèle; les deux présentent une certaine quantité d'incertitude.

Les sources d'incertitude relatives aux données comprennent les indices d'abondance, les compositions selon l'âge et le poids, ainsi que certaines estimations des prises (par exemple, œufs sur varech).

Les sources d'incertitude entourant les distributions a priori devraient être un équilibre entre le fait de permettre aux valeurs a priori d'être suffisamment non informatives pour que les estimations des paramètres soient principalement éclairées par les données, mais pas au point d'être si peu informatives que les paramètres n'arrivent pas à converger sur leurs estimations. Par conséquent, il peut y avoir des différences en ce qui concerne les spécifications a priori, car l'équilibre entre ces deux objectifs est souvent un choix individuel (c'est-à-dire que les valeurs a priori informatives aident à améliorer la convergence, mais peuvent également biaiser les résultats ou réduire artificiellement l'incertitude). Bon nombre des valeurs a priori du modèle MSSIPHA ont été fondées sur la compréhension de modèles antérieurs pour le hareng, y compris le MSIPA, qui comportent leurs propres incertitudes. Le processus d'examen a recommandé de poursuivre le travail sur l'élaboration de valeurs a priori pour les paramètres dépendants de la densité.

Les autres sources d'incertitude comprennent la façon dont la spécification du modèle influe sur les paramètres et les estimations des points de référence. Le processus d'examen a mis en évidence deux spécifications à examiner dans les travaux à venir : i) les paramétrages de la mortalité naturelle dépendante de la densité qui comprennent à la fois des options

anticompensatoire et compensatoires, et ii) la façon dont la capturabilité du relevé est quantifiée. Pour ce qui est de la capturabilité du relevé, une étude par paires pourrait être utilisée pour trouver la relation entre les relevés de surface et les relevés de plongée modernes, de sorte qu'un seul coefficient de capturabilité devrait être précisé.

D'autres spécifications du modèle qui peuvent ajouter de l'incertitude au modèle comprennent le poids et le type de contraintes imposées au modèle, y compris des éléments comme la valeur a priori de Jefferies sur la biomasse non exploitée et les limites inférieures de la mortalité naturelle. Ces spécifications peuvent également être améliorées par des analyses de sensibilité.

Des paramétrages alternatifs peuvent modifier les estimations de sortie et de point de référence du modèle.

CONCLUSIONS ET AVIS

- Les hypothèses structurelles du MSSIPHA, comme la mortalité naturelle dépendante de la densité, peuvent influencer sur les estimations à long terme de la biomasse moyenne non exploitée, sur les points de référence biologiques et, par conséquent, sur notre compréhension de l'état des stocks au fil du temps. Par exemple, les stocks présentant des preuves plus solides de mortalité naturelle anticompensatoire, comme celui de HG, montrent des estimations inférieures de la biomasse non exploitée moyenne à long terme et des estimations inférieures correspondantes des points de référence limites.
- Les courbes de rendement à l'équilibre sont produites à l'aide de simulations sur 200 ans et servent de base aux calculs des points de référence fondés sur le RMD. Comme de nombreuses pêches multisectorielles, les courbes de rendement sont sensibles à l'attribution des prises entre les pêches, et la mortalité réelle inférieure liée à la récolte d'œufs sur varech a une incidence sur les courbes de rendement du hareng de la Colombie-Britannique lorsque cette pêche est incluse. Les travaux à venir devraient définir une préférence pour la façon dont les taux de récolte sont définis. Pour les simulations actuelles, l'attribution entre les secteurs dans les projections correspondait aux niveaux de prises relatifs moyens historiques pour les 10 dernières années où les pêches étaient ouvertes (les années sans prise ont été sautées). Les taux de récolte estimés au RMD peuvent servir de guide pour les évaluations de l'ajustement des procédures de gestion, pour la conformité aux exigences de déclaration de la politique de l'approche de précaution et pour l'évaluation des pratiques exemplaires proposées pour les espèces fourragères.
- Un cycle minimal de trois ans est recommandé pour les mises à jour de l'ESG, à moins que de nouveaux éléments de preuve ne révèlent des circonstances exceptionnelles.
- Un processus pour mettre en œuvre le nouveau modèle d'évaluation et le nouveau modèle opérationnel, mettre à jour l'ESG et déterminer les circonstances exceptionnelles doit être élaboré dans le cadre d'une approche progressive en consultation avec les gestionnaires, les Premières Nations et les autres intervenants.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

La variabilité environnementale a été modélisée implicitement par la mortalité naturelle (par exemple, les répercussions implicites de la prédation), la variabilité du processus de recrutement et la variabilité du processus de mortalité naturelle par rapport à la relation anticompensatoire; toutefois, l'analyse n'a pas porté sur des avis particuliers concernant les répercussions des changements climatiques et les modifications de la productivité des océans.

Les travaux à venir devraient comprendre l'examen d'autres paramétrages de la mortalité naturelle dépendante de la densité, de la capturabilité des relevés et de la structure spatiale.

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Prénom	Organisme d'appartenance
Benson	Ashleen	Landmark Fisheries Research
Boldt	Jennifer	MPO, Sciences
Bruce	Kevin	MPO, Gestion des pêches
Burrige	Christina	BC Seafood Alliance
Cahill	Chris	Université de l'État du Michigan
Cleary	Jaclyn	MPO, Sciences
Cox	Sean	Université Simon Fraser, C.-B.; Landmark Fisheries Research
Curkan	Curtis	MPO, Gestion des pêches
Dorner	Brigitte	Première Nation Heiltsuk
Driscoll	John	Pacific Marine Conservation Caucus/Fondation David Suzuki
Forrest	Robyn	MPO, Sciences
Frederickson	Nicole	Island Marine Aquatic Working Group
Hawkshaw	Sarah	MPO, Sciences
Johnson	Sam	Landmark Fisheries Research
Jones	Russ	Conseil de la Nation Haida
Keefe	Marisa	MPO, Gestion des pêches
Lane	Jim	Conseil tribal Nuu-chah-nulth
Mazur	Mackenzie	MPO, Sciences
Miyagi	Eamon	MPO, Gestion des pêches
Muirhead-Vert	Yvonne	Centre des avis scientifiques du Pacifique du MPO
Nowosad	Damon	Q'ul-Ihanumutsun Aquatic Resources Society
O	Miriam	Centre des avis scientifiques du Pacifique du MPO
Olmstead	Melissa	MPO, Sciences
Postlethwaite	Victoria	MPO, Gestion des pêches
Power	Sarah	MPO, Sciences
Romanin	Kevin	Province de la Colombie-Britannique
Rooper	Chris	MPO, Sciences
Rusch	Bryan	MPO, Gestion des pêches
Schut	Steve	MPO, Sciences
Starr	Paul	Comité consultatif de l'industrie du hareng
Tai	Travis	MPO, Sciences
Van Beveren	Elisabeth	MPO, Sciences
White	Penny	Bande Lax Kw'alaams

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion d'examen régional par les pairs du 26 au 28 juin 2023 sur l'application d'un nouveau cadre de modélisation pour l'évaluation des grands stocks de hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*) et mise en œuvre dans le processus d'évaluation des stratégies de gestion. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

- Benson, A.J., Cleary, J.S., Cox, S.P., Johnson, S. et Grinnell, M.H. 2023. [Rendement des procédures de gestion pour le hareng du Pacifique \(*Clupea pallasii*\) de la Colombie-Britannique en présence d'incertitudes du modèle : combler l'écart entre la théorie et la pratique de la pêche selon l'approche de précaution](#). Secr. can. des avis. sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/048. ix + 77 p.
- Cleary, J.S., Hawkshaw, S., Grinnell, M.H., et Grandin, C. 2019. [État des stocks de hareng du Pacifique \(*Clupea pallasii*\) dans les eaux de la Colombie-Britannique en 2017 et prévisions pour 2018](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/028. v + 296 p
- Cox, S.P., Benson, A.J., Cleary, J.S, et Taylor, N.G. 2019. [Points de référence limites potentiels comme base pour choisir parmi les autres règles de contrôle des prises pour le hareng du Pacifique \(*Clupea pallasii*\) en Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/050. viii + 52 p.
- Martell, S.J., Schweigert, J.F., Haist, V., and Cleary, J.S. 2012. [Moving towards the sustainable fisheries framework for Pacific herring: data, models, and alternative assumptions: Stock Assessment and Management Advice for the British Columbia Pacific Herring Stocks: 2011 Assessment and 2012 Forecasts](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/136. xii + 151 p.
- MPO. 2009. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#).
- MPO. 2019. [Évaluation des procédures de gestion du hareng du Pacifique \(*Clupea pallasii*\) dans le détroit de Georgia et sur la côte ouest de l'île de Vancouver dans les zones de gestion de la Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2019/001.
- MPO. 2020. [Compte rendu de l'examen par les pairs de la région du Pacifique sur l'évaluation des procédures de gestion du hareng du Pacifique \(*Clupea pallasii*\) dans le détroit de Georgia et sur la côte ouest de l'île de Vancouver dans les zones de gestion de la Colombie-Britannique; du 25 au 26 juillet 2018](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Compte rendu 2020/027.
- MPO. 2023. [Mise à jour de l'évaluation de la stratégie de gestion et évaluation des options de points de référence supérieurs du stock pour le hareng du Pacifique \(*Clupea pallasii*\) en Colombie-Britannique, au Canada](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2023/002.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (C.-B.) V9T 6N7

Courriel : DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-68098-9 N° cat. Fs70-6/2023-040F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2023



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2023. Application d'un nouveau cadre de modélisation pour l'évaluation des grands stocks de hareng du Pacifique (*Clupea pallasii*) et mise en œuvre dans le processus d'évaluation des stratégies de gestion. Secr. can. des avis. sci. du MPO. Avis sci. 2023/040.

Also available in English:

DFO. 2023. Application of a new modelling framework for the assessment of Pacific Herring (Clupea pallasii) major stocks and implementation in the management strategy evaluation process. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2023/040.